

# **PATRONES SINÓPTICOS DE PRECIPITACIONES TORRENCIALES EN LA CUENCA DEL RÍO MUGA (NE DE ESPAÑA) EN EL ÁREA DEL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL Y SU EVOLUCIÓN TEMPORAL**

M<sup>a</sup> José CORDOBILLA CASCALES, Javier MARTÍN-VIDE

*Grupo de Climatología. Universidad de Barcelona.*

**mj.cordobilla@ub.edu, jmartinvide@ub.edu**

## **RESUMEN**

En el escenario presente de cambio climático, las precipitaciones torrenciales constituyen el riesgo climático, e incluso natural, que causa el mayor número de víctimas y daños en Cataluña. Este estudio presenta los patrones sinópticos de las lluvias torrenciales en la cuenca del río Muga, en el NE de ésta región. Los patrones se obtuvieron mediante el uso del método objetivo de Jenkinson y Collison (J&C) sobre una cuadrícula diaria de datos de presión a nivel del mar horarios (reanálisis NCEP/NCAR). Para el estudio, se seleccionaron, a partir de la base de datos Spain02 v4, los días que registraron 100 mm o más en todo el período de estudio (1971-2010). Se ha obtenido el catálogo de situaciones sinópticas que dan lugar a precipitación torrencial. En el análisis también se consideran dos subperíodos de estudio (1971-1990 y 1991-2010) para detectar variaciones, tanto en la tipología de las situaciones sinópticas, como en el calendario y en la frecuencia de episodios torrenciales. Los tipos sinópticos de J&C más representados en los casos de precipitación torrencial son ciclónicos, y se observa un aumento en la frecuencia de este patrón sinóptico en el segundo subperíodo (78%, 1991-2010), en comparación con el primer subperíodo (37%, 1971-1990). Por otra parte, se ha puesto en relación el valor mensual del índice de la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMOi) con los patrones sinópticos obtenidos. Los resultados mostraron una clara asociación entre los valores negativos del WeMOi y los días con precipitación torrencial en la cuenca del río Muga (y en el área del Mediterráneo occidental) con un 87% de los casos. Esto confirma que el WeMOi es un buen índice para pronosticar precipitaciones abundantes en el noreste de España.

**Palabras clave:** río Muga, Mediterráneo occidental, precipitación torrencial, patrón sinóptico, WeMO.

## **ABSTRACT**

In the current scenario of climate change, torrential rainfall is considered one of the most climatic and natural risk events, which causes the greatest number of victims and damages in Catalonia. This study presents the synoptic patterns of torrential rainfall in the Muga river basin, in the NE of the Catalan region. The synoptic patterns were obtained by using the objective method of Jenkinson and Collison (J&C) on a daily grid of pressure data at sea level schedules (NCEP/NCAR reanalysis). For this study, the days that registered 100 mm or more throughout the study period (1971-2010)

were selected from the Spain02 v4 database. In the analysis, two subperiods of study (1971-1990 and 1991-2010) were also considered to detect variations, both in the typology of the synoptic situations, as well as in the calendar and in the frequency of torrential episodes. The synoptic types of J&C most represented in the cases of torrential precipitation are cyclonic, and an increase in the frequency of this synoptic pattern is observed in the second subperiod (78%, 1991-2010), in comparison with the first subperiod (37%, 1971-1990). On the other hand, the monthly value of the Western Mediterranean Oscillation Index (WeMOi) was compared with the synoptic patterns obtained. The results showed a clear association between the negative values of the WeMOi and the days with torrential precipitation in the Muga river basin with 87% of the cases. This confirms that the WeMOi is a good index to forecast torrential rainfall in the northeast of Spain.

**Key words:** Muga river, western Mediterranean, torrential rainfall, synoptic pattern, WeMO.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las precipitaciones torrenciales constituyen el riesgo climático, e incluso natural, que produce un mayor número de víctimas y daños materiales en Cataluña (Llasat *et al.*, 2014). En el quinto informe del IPCC (IPCC, 2014) se indica que los cambios que se producirán en el ciclo global del agua en respuesta al calentamiento en este siglo XXI producirán una acentuación del contraste entre las precipitaciones de las regiones húmedas y secas y entre las estaciones húmedas y secas. Es muy probable que para finales de siglo, conforme vaya aumentando la temperatura media global en superficie, los fenómenos de precipitación extrema sean más intensos y frecuentes en la mayoría de las áreas terrestres de latitudes medias y en las regiones tropicales húmedas.

En relación a las conclusiones del IPCC, muchos artículos científicos han tratado de analizar y descubrir estas tendencias sobre el ámbito de la cuenca mediterránea, una de las zonas más afectadas por los cambios (De Herralde *et al.*, 2012; López-Bustins *et al.*, 2013; Pascual *et al.*, 2014; López-Bustins *et al.*, 2014; Pérez-Palazón *et al.* 2018, entre otros).

En la elección de la cuenca de la Muga ha primado el hecho de que se trata de un ámbito poco estudiado con un comportamiento hidrometeorológico muy susceptible a los efectos del cambio climático. La presencia en su territorio de un importante aprovechamiento agrícola lo hace más vulnerable a los impactos del cambio climático, más teniendo en cuenta la elevada irregularidad pluviométrica, y el aumento térmico progresivo, ya constatado.

Los índices de teleconexión pueden correlacionarse con la precipitación para avanzar en el conocimiento de qué tipos de circulación favorecen su ocurrencia. El índice de la Oscilación del Mediterráneo Occidental (Western Mediterranean Oscillation, WeMO) (Martín-Vide, 2002; Martín-Vide y López-Bustins, 2006) es un buen indicador de la variabilidad pluviométrica, a escalas temporales variadas, en la fachada oriental de la Península Ibérica (Martín-Vide *et al.*, 2008). La precipitación



de esta franja mediterránea se halla débilmente influenciada por el patrón de teleconexión del Atlántico Norte (North Atlantic Oscillation, NAO).

El estudio se centra en el análisis pluviométrico de los episodios extremos (igual o superior a 100 mm/24h), para realizar un análisis temporal y una interpretación sinóptica de las precipitaciones torrenciales que periódicamente inciden en la citada cuenca, que provocan avenidas y en muchos ocasiones inundaciones, algunas de ellas catastróficas. Como objetivos, se trata de determinar los patrones sinópticos de lluvia torrencial, con el método objetivo de Jenkinson y Collison, y la relación con el valor mensual medio del índice de oscilación del Mediterráneo occidental (WeMOi) y los patrones sinópticos obtenidos. Los resultados pueden ser una aportación útil de cara a la planificación y prevención del riesgo en el área.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO, DATOS Y MÉTODOS

El área de estudio es la cuenca de la Muga, con una extensión de 961 km<sup>2</sup>, y un desnivel absoluto de 1.240 m, localizada en el extremo NE de la Península Ibérica, en la comunidad autónoma de Cataluña, concretamente en el extremo nororiental de la provincia de Girona. La red hidrográfica presenta una orientación NO-SE, antes de desembocar en el mar, por el golfo de Roses. Por su situación latitudinal y su posición en el occidente de Europa tiene clima mediterráneo (Fig. 1).

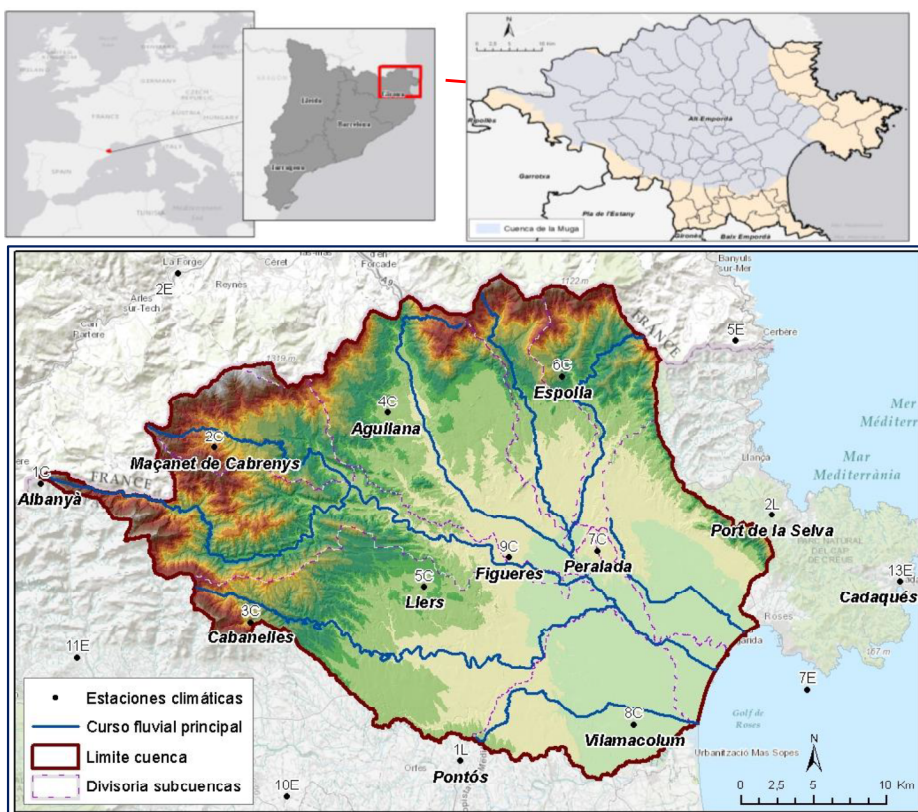
Los datos meteorológicos se han extraído de la base de datos, de tipo malla regular con una resolución espacial de 0,11°, Spain02 v4. Esta base de datos se creó a partir de la colaboración de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y la Universidad de Cantabria (UC) (Herrera *et al.*, 2016). La ubicación de los datos utilizados de la base de datos Spain02 v4, corresponde al centroide de la forma de las diferentes celdas de la malla sobre el área de estudio.

Se ha escogido la clasificación objetiva de Jenkinson y Collison (1977) (J&C) para clasificar sinópticamente los días con valores de precipitación igual o superior a 100 mm en 24 horas, en el periodo de estudio 1971-2010, registrándose un total de 17 casos.

La citada clasificación objetiva de situaciones sinópticas aplica un algoritmo y unas reglas finales unívocas, lo que da lugar siempre a los mismos resultados independientemente del investigador que la utilice. La clasificación de J&C contiene 27 tipos obtenidos a partir de la presión atmosférica en superficie en un retículo de 9, 16 o más puntos que englobe el área objeto de estudio (Martín Vide *et al.* 2015, Dessouky *et al.* 1977).

En nuestro caso, se ha usado la clasificación adaptada a la Península Ibérica por Spellman (2000), y ya utilizada por Martín Vide (2002). Con una retícula de 9 puntos con sus extremos en los paralelos 35°N y 45°N y en los meridianos 15°W y 5°E, por su ubicación geográfica y resultados en estudios previos. Pueden usarse otras retículas que cubren el área de estudio (Grimalt *et al.*, 2013) u otro número de puntos (Messeguer, 2015).

La clasificación de Jenkinson y Collison se basa en 8 variables deducidas exclusivamente a partir de la presión atmosférica en superficie (Tabla 1). Los valores de presión atmosférica al nivel del mar (SLP) se han extraído de los datos diarios (18UTC, 18Z) de la base de datos de reanálisis NCEP/NCAR (Kalnay *et al.*, 1996).



*Fig. 1: Localización geográfica y descripción del área de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC) y la Agencia Catalana del Agua (ACA).*

Estas variables son:

- Presión media en superficie (P), en hectopascal (hPa);
- Componente zonal del viento (superficial) geostrófico (W), calculada como gradiente de presión, por ejemplo, entre 35° y 45°N para la Península Ibérica;
- Componente meridiana del viento (superficial) geostrófico (S), calculada como gradiente de presión, por ejemplo, entre 0° y 10°W para la Península Ibérica;
- Dirección del viento (D), en grados azimut;
- Velocidad del viento (F), en metros por segundo (m/s);
- Componente zonal de la vorticidad (ZW);
- Componente meridiana de la vorticidad (ZS);
- Vorticidad total (Z).

Variables del método J&C
$P = 0,0625[(P1+P3+P7+P9)+2(P2+P4+P6+P8)+4P5]$
$W = 0,25[(P7+2P8+P9)-(P1+2P2+P3)]$
$S = 0,653[0,25(P3+2P6+P9)-0,25(P1+2P4+P7)]$
$D = \arctg (W/S)$
$F = (W2+S2)^{1/2}$
$ZW = 1,056[(P7+2P8+P9)-(P4+2P5+P6)]-0,951[(P4+2P5+P6)-(P1+2P2+P3)]$
$ZS = 1,305[0,25(P3+2P6+P9)-0,25(P2+2P5+P8)0,25(P2+2P5+P8)+0,25(P1+2P4+P7)]$
$Z = ZW + ZS$

*Tabla 1: Expresiones analíticas para el cálculo de las variables del método de Jenkinson y Collison. Fuente: Jenkinson y Collison (1977).*

A partir de los valores de estas 8 variables, se aplican las cinco reglas siguientes para obtener el tipo sinóptico correspondiente:

1. La dirección del flujo viene dada por D (se usa una rosa de vientos de 8 rumbos, y se tiene en cuenta el signo de W y de S)
2. Si  $|Z| < F$ : Existe un tipo advectivo o direccional puro, definido según la regla 1 (N, NE, E, SE, S SW, W y NW).
3. Si  $|Z| > 2F$ : Existe un tipo ciclónico (C) si  $Z > 0$ , o anticiclónico (A) si  $Z < 0$ .
4. Si  $F < |Z| < 2F$ : Existe un tipo híbrido, según el signo de Z (regla 3) y la dirección del flujo (regla 1) (CN, CNE, CE, CSE, CS, CSW, CW, CNW, AN, ANE, AE, ASE, AS, ASW, AW y ANW).
5. Si  $F < 6$  y  $|Z| < 6$ : Existe un tipo indeterminado (U).

Esta clasificación sinóptica consta de 27 tipos de tiempos (8 advectivos puros, 1 ciclónico, 1 anticiclónico, 8 híbridos advectivo-anticiclónicos, 8 híbridos advectivo-ciclónicos y 1 indeterminado), como ya se definió en Llop Garau *et al.* (2012).

El Mediterráneo occidental, por su situación geográfica, está en una zona de transición entre el clima templado de latitudes medias y el clima de desierto tropical, muy sensible a la variabilidad interanual de la circulación atmosférica. La posición occidental en el continente Euroasiático le dota de clima mediterráneo, pero en la fachada oriental de la Península Ibérica, con el mar al este y a sotavento de la influencia atlántica, el régimen pluviométrico estacional es diferente al típicamente mediterráneo de máximo invernal y mínimo estival, dado que es el otoño la estación más lluviosa, mientras que el invierno es relativamente seco (Martín-Vide y Olcina, 2001). Esta región oriental de la Península presenta una débil influencia de la

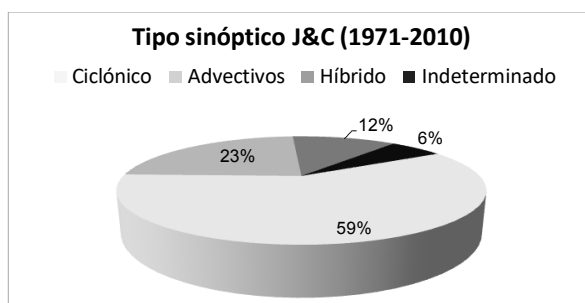
Oscilación del Atlántico Norte (NAO), el patrón de variabilidad de baja frecuencia más influyente en invierno sobre la mayor parte de Europa Occidental (Hurrell, 1995).

Martín-Vide y López-Bustins (2006), para caracterizar la circulación propia en el área de la cuenca occidental mediterránea, definieron un nuevo patrón de teleconexión, cuyo primer ensayo se presentó en el III Congreso de la Asociación Española de Climatología (AEC) (Martín-Vide, 2002), que explica una parte sustancial de la variabilidad pluviométrica de la fachada mediterránea de la Península Ibérica: la Oscilación del Mediterráneo Occidental (Western Mediterranean Oscillation index, WeMOi). Los valores del índice de la WeMO se calculan a partir de la diferencia de los valores estandarizados de presión atmosférica entre los observatorios de Padua (norte de Italia) y San Fernando (suroeste de España). Los valores del WeMOi usados en este trabajo provienen del Grupo de Climatología de la Universidad de Barcelona. En este estudio se han correlacionado los valores mensuales del índice con los episodios analizados de precipitación igual o superior a 100 mm en 24 horas, en el periodo 1971-2010.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Patrones sinópticos de precipitaciones torrenciales

Una vez clasificadas según J&C las fechas con precipitación torrencial en la cuenca del río Muga durante el periodo de estudio (Fig. 2), se ha obtenido que el tipo ciclónico puro predomina con un 59% de los casos, seguido de tipos advectivos o direccionales (32%), tipos híbridos (12%) y un 6% indeterminados.



*Fig. 2: Distribución de tipos sinópticos de Jenkinson y Collison (J&C) durante el periodo 1971-2010.*

Al comparar los datos obtenidos entre los dos subperiodos de 20 años (1971-1990 y 1991-2010), para detectar posibles variaciones, se observa que, en efecto, existen. (Fig. 3). En el primer subperiodo los datos muestran que los tipos sinópticos asociados a los episodios de precipitación torrencial son en un 38% de origen advectivo, prácticamente empatados con el tipo ciclónico puro, con un 37%, y un restante 25% de tipos híbridos. En el segundo subperiodo (1991-2010) destaca un 78% de los episodios con el tipo ciclónico puro, y el resto de casos, un 11% de tipos advectivos y otro tanto del tipo indeterminado.

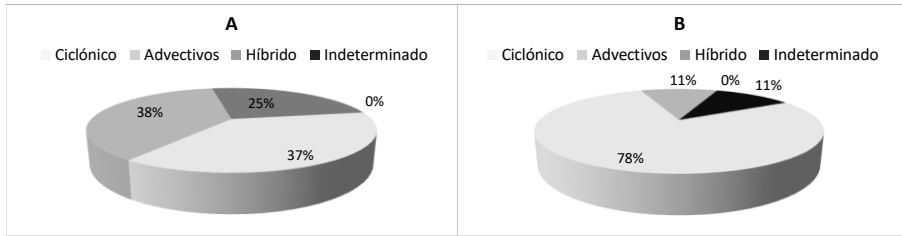


Fig. 3: Distribución de los diferentes tipos sinópticos de Jenkinson y Collison (J&C) durante los dos subperiodos analizados A: 1971-1990 y B: 1991-2010.

### 3.2. Precipitaciones torrenciales, distribución intraanual y WeMOi.

Los episodios de lluvias torrenciales se concentran en el mes de octubre durante el periodo de estudio de forma destacada (Fig. 4), y en los dos subperiodos (Fig. 5). Sin embargo, se observa en el segundo subperiodo la presencia de un segundo máximo pluviométrico de precipitaciones torrenciales en primavera y una concentración del resto de los episodios en otoño.

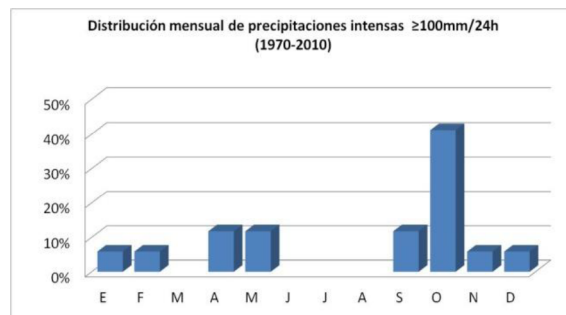


Fig. 4: Distribución mensual de los episodios de precipitaciones torrenciales (1971-2010), en porcentaje.

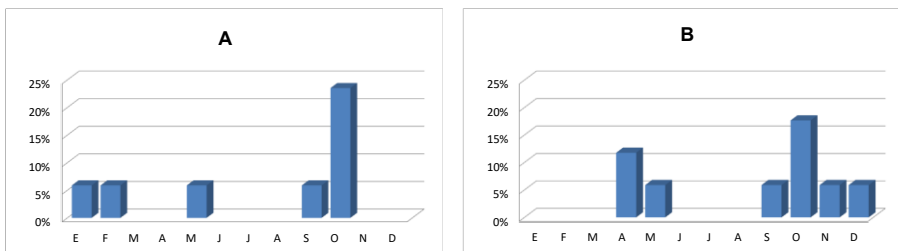


Fig. 5: Distribución mensual de los episodios de precipitaciones torrenciales en los dos subperiodos, A: 1971-1990 y B: 1991-2010, en porcentaje.

Los valores mensuales del WeMOi en relación a los casos de precipitación torrencial muestran que un 87% coinciden con valores negativos del índice y solo en un 13%

con positivos, en el periodo de estudio. Los valores para los dos subperiodos son muy similares.

#### 4. CONCLUSIONES

El tipo sinóptico de Jenkinson y Collison más representativo de las precipitaciones torrenciales, con valores igual o superior a 100 mm/24h, es el ciclónico. En los resultados del análisis de los subperiodos se aprecia un aumento en la frecuencia de este patrón sinóptico en los casos de fuertes lluvias durante el segundo subperiodo (78%, 1991-2010), en comparación con el primer subperiodo (37%, 1971-1990).

En relación a los valores mensuales de WeMOi y la ocurrencia de episodios torrenciales, los resultados mostraron una clara asociación entre los valores negativos (87%) de este índice de teleconexión y la ocurrencia de precipitación torrencial en la cuenca del río Muga (NE España).

Los valores del WeMOi más negativos se observan en otoño, especialmente durante octubre, coincidentes con la ocurrencia del mayor número de episodios torrenciales en octubre, lo que explica que este mes sea el mes más húmedo en la mayoría de observatorios del litoral catalán y de otras áreas de la facha oriental de la Península Ibérica (López-Bustins *et al.*, 2016). La mayor frecuencia de episodios extremos negativos del WeMOi durante octubre, configurados con la presencia de altas presiones en Centroeuropa y bajas presiones en el Golfo de Cádiz, favorece la circulación de vientos de levante sobre la Península. Esta circulación mediterránea es el ingrediente principal para favorecer la ocurrencia de episodios torrenciales en el este peninsular (Martín-Vide, 2005).

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos WEMOTOR (CSO2014-55799-C2-1-R, 2015-2017) del Ministerio de Economía y Competitividad y CLICES (CGL2017-83866-C3-2-R) del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, y apoyado por el Grupo de Climatología de la Universidad de Barcelona (UB) (2017 SGR 1362, Generalitat de Catalunya) y el Institut de Recerca de l'Aigua (IdRA) (UB). Los autores agradecen a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y la Universidad de Cantabria (UC) los datos proporcionados para este trabajo (Spain02 v4 EURO-CORDEX). Y, para las bases cartográficas, al Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) y la Agència Catalana de l'Aigua (ACA).

#### REFERENCIAS

De Herralde, F., Savé, R., Nadal, M., Pla, E. and Lopez-Bustins, J.A. (2012). Global change influence on wine quality in Priorat and Montsant (NE Spain). *Acta Horticulturae* (Internacional Society for Horticultural Science, ISHS), volumen (931), 39-46. doi: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.931.3>

- Dessouky, T.M. y Jenkinson, A.F. (1977) An objective daily catalogue of surface pressure, flow and vorticity indices for Egypt and its use in monthly rainfall forecasting. *Meteorological Research Bulletin*, volumen (11), 1-25.
- Grimalt, M., Tomás, M., Alomar, G., Martín-Vide, J. y Moreno-García, M.C. (2013) Determination of the Jenkinson and Collison's weather types for the western Mediterranean basin over the 1948-2009 period. Temporal analysis. *Atmósfera*, volumen (26), 75-94. doi: 10.1016/S0187-6236(13)71063-4
- Herrera, S., Fernández, J. y Gutiérrez, J.M. (2016). Update of the Spain02 Gridded Observational Dataset for Euro-CORDEX evaluation: Assessing the Effect of the Interpolation Methodology. *International Journal of Climatology*, volumen (36), 900-908. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.4391>.
- Hurrell, J.W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science Nature*, volumen (269), Issue 5224, 676-679. doi:10.1126/science.269.5224.676
- IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.
- Jenkinson, A.F. y Collison, F.P. (1977). An Initial Climatology of Gales over the North Sea. Synoptic Climatology Branch Memorandum, número 62, Bracknell. Meteorological Office, London.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R. y Joseph, D. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, volumen (77), 437-470. doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2)
- Llasat, M.C., Marcos, R., Llasat-Botija, M., Gilabert, J. Turco, M., Quintana-Seguí, P. (2014). Flash flood evolution in North-Western Mediterranean, *Atmospheric Research*, volumen (149), 230-243. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.05.024>
- Llop Garau, J., Alomar Garau, G. (2012). Clasificación sinóptica automática de Jenkinson y Collison para los días de precipitación mayor o igual a 200 mm en la isla de Mallorca. *Territoris: Revista del Departament de Ciències de la Terra*, volumen (8), 143-152.
- López-Bustins, J.A., Martín Vide, J., Prohom, M., Cordobilla, M.J. (2016). Variabilidad intraanual de la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) y ocurrencia de episodios torrenciales en Cataluña. En J. Olcina Cantos, A.M. Rico Amorós y E. Moltó Mantero (eds.), *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio* (pp. 171-181). doi: <http://hdl.handle.net/10045/57984>
- López-Bustins, J.A.; Martín-Vide, J.; Barriendos, M. (2014). Actualización de los valores del índice de la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMOi):

- 1821-2013. En *IX Congreso de la Asociación Española de Climatología. Cambio climático y cambio global* (283-294). Almería.
- López-Bustins, J.A., Pascual, D., Pla, E., Retana, J. (2013). Future variability of droughts in three Mediterranean catchments. *Natural Hazards*, volumen (69), 1405-1421. doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0754-3>
- Martín-Vide, J., M. Artola, V., Cordobilla, M.J., Moreno, M.C. (Grup de Climatologia, Universidad de Barcelona), Montlleó, M. (Barcelona Regional) (2015). La isla de calor en el área metropolitana de Barcelona y la adaptación al cambio climático. Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB. Recuperado de <http://www.amb.cat/es/web/medi-ambient/actualitat/publicacions/detall/-/publicacio/la-isla-de-calor-en-el-area-metropolitana-de-barcelona-y-la-adaptacion/5773152/11818>
- Martín-Vide, J., Sanchez-Lorenzo, A., López-Bustins, J.A., Cordobilla, M.J., García-Manuel, A., Raso, J.M. (2008). Torrential Rainfall in Northeast of the Iberian Peninsula: Synoptic patterns and WeMO influence. *Advances in Science and Research*, volumen (2), 99-105. Recuperado de: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00297465>
- Martín-Vide, J. y López-Bustins, J.A. (2006). The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, volumen (26), 1455-1475. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1388>
- Martín-Vide, J. (2005). Los mapas del tiempo. Mataró (Barcelona): Editorial Davinci Continental.
- Martín-Vide, J. (2002). Ensayo sobre la Oscilación del Mediterráneo Occidental y su influencia en la pluviometría del este de España. En J.A. Guijarro, M. Grimalt, M. Laita, S. Alonso (Eds.), *El Agua y el Clima/ L'Aigua i el Clima* (pp. 35-42), Palma: Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC).
- Meseguer, Ó. (2015). La fractalidad temporal de la precipitación en la España Peninsular y Baleares, Tesis doctoral, Universidad de Barcelona.
- Pascual, D., Pla, E., López-Bustins, J.A., Retana, J., Terradas, J. (2015). Impacts of climate change on water resources in the Mediterranean Basin: A case study in Catalonia, Spain. *Hydrological Sciences Journal*. volumen (60), 2132-2147. doi: <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.947290>
- Pérez-Palazón, M.J., Pimentel, R., Polo, M.J. (2018). Climate Trends Impact on the Snowfall Regime in Mediterranean Mountain Areas: Future Scenario Assessment in Sierra Nevada (Spain). *Water*, volumen (10(6)), 720. doi: <https://doi.org/10.3390/w10060720>
- Spellman, G. (2000). The application of an objective weather-typing system to the Iberian peninsula. *Weather*, volumen (55), 375-385. doi: <https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.2000.tb04023.x>